

# 高压线路电流差动保护的现状及其前景展望

廖泽友 鲍伟廉 杨维那 杨奇逊 蔡虎 华北电力大学 北京 (100085)

**【摘要】** 电流差动保护是高压线路主保护的一个重要发展方向。文内简要地综述了高压线路电流差动保护的发展历史和现状,并讨论其特点和在高压线路保护中的作用与意义,以此展望其应用前景。最后介绍高压线路电流差动保护研究的一些最新情况和北京 Hathaway 四方公司正在研究开发的高压线路数字式光纤分相电流差动保护装置的一些特点。

**【关键词】** 电流差动保护 线路保护 数据通信 同步采样

## 1 高压线路电流差动保护的发展历史与现状

电流差动保护的原理是在本世纪初提出的<sup>[1]</sup>,迄今为止,已约有90年的历史。由于其原理简单可靠而被广泛地用作电力系统的发电机、变压器、母线和大型电动机等元件的主保护。电流差动保护原理在电力线路上的应用,最早就是传统的导引线保护。它可作为高、中压电网中的短距离线路的全线速动主保护。对于中、长距离的输电线路,由于难以测量线路对端的电流,而在相当长的时间内,难以应用电流差动保护原理。

随着微波通信技术、光纤通信技术的发展和其在电力系统通信中的逐渐应用,又先后出现了输电线路的微波电流差动保护和光纤电流差动保护。在国外,日本70年代就有分相电流差动微波保护<sup>[2]</sup>。在我国,也较早地开展了输电线路的分相电流差动微波保护的研究,1979年就有相应的研究报告发表<sup>[3,4]</sup>。这一阶段,主要是研究采用频率调制方式的模拟式电流差动微波保护。进入80年代,日本又最先研究采用PCM调制方式的数字式电流差动微波保护<sup>[2,5]</sup>。80年代末以来,英国GEC公司和ABB公司也相应研制出各自的数字式电流差动保护装置。我国于80年代末,开始研制数字式的电流差动微波保护。第一套可用于长距离输电线路的数字式微波电流差动保护,WXH-14型高压线路微机微波电流差动保护装置,于1994年完成、通过鉴定。由于光纤通信在电力通信系统的使用较少,需为光纤电流差动保护配设专用光缆,所以,光纤电流差动保护通常被设计用于短距离输电线路<sup>[6,7]</sup>。由于电力通信及其它诸多原因,微波、光纤电流差动保护在我国电力系统继电保护中的实际应用却一直非常之少。

在国外,数字式电流差动保护的应用较多,尤其是在日本和英国,数字式电流差动保护是输电线路主保护中应用最多的保护;在其它国家也有应用。随着通信技术的向前发展和光纤等通信设备的成本下降,近几年,我国的通信发展很快,电力通信系统中也在逐步应用光纤通信。不少地方已经引进了日本东芝公司、英国GEC公司和ABB公司的数字电流差动保护装置。这些装置可用于数字微波或光纤通信系统、以及短距离的专用光纤通道上。

## 2 高压线路电流差动保护的特点及其应用前景展望

用于高压线路的电流差动保护原理的基本动作判据可表示为:

$$| I_i | - K | F(I_i) | > I_0 \quad (1)$$

式中:  $I_i$  ——线路各端电流的相量和(规定各端电流的正方向为母线流向被保护线路),

$F(I_i)$  ——各端电流的函数,

$K$  ——制动系数,

$I_0$  ——差动保护的整定值。

(1)式左端的第一、二项,依次是大家熟悉的动作量和制动量。从实现继电保护所要求的故障信息的观点来分析,该判据的动作量是非常之理想的。因为,它的结果完全消除了被保护线路的非故障状态下的电流。不管被保护线路的非故障状态下的电流怎样复杂变化,它都具有精确提取内部故障分量的能力。因此,它能适应电力系统的振荡、非全相等各种复杂的运行状态。这是电流差动保护判据的优点之一。

从(1)式中不难看出,电流差动保护判据仅需测量被保护线路的各端电流,测量简单方便,同其它需要电压的线路保护判据相比,具有不受PT断线影

响的特点。因此,可以说,它更为简单可靠。由于简单,从原理上来看,电流差动保护的動作速度可以做得很快(事实上,母线差动保护正是这样)。这是电流差动保护的优点之二。

对于高压线路保护来讲,要具有选相跳闸的能力。而电流差动保护判据恰恰具有良好的天然选相能力,因为(1)式可以设计成分相保护。这一优点对于同杆并架的双回线路来说,更具有特殊的、不同凡响的意义。它可以非常容易地完成同杆双回线,发生跨线异相单相故障时,所要求的选相跳闸任务。这是电流差动保护判据的优点之三。

电流差动保护判据,从根本上看,它是建立在基尔霍夫电流定律的基石之上的,因此,从理论上讲,它可以适应任何拓扑结构的复杂电力网络。同目前所使用的高压线路保护相比,它更为适应 T 型分支输电线路对保护的要求。这是电流差动保护判据的优点之四。

电流差动保护的灵敏度高,这在短线路保护的配置中,已充分地显示出来。这是电流差动保护判据的优点之五。

对于高压、超高压的长距离输电线路,其分布电容电流,将会影响电流差动保护判据的测量准确性,这却使电流差动保护判据的不足。目前,这只能是通过降低保护灵敏度或通过适当的补偿来做一定的弥补<sup>[8]</sup>。但总的说来,这也仅仅只会影响到它的应用范围。而事实上,对于目前的大多数高压、超高压的长距离输电线路来说,电流差动保护的灵敏度也还是完全足够的。

高压线路电流差动保护,在我国之所以应用不广泛的原因,正如前面所述,是由于它对通信通道的依赖。它不能够利用目前我国高频保护中用得最为广泛的电力线载波通道来实现。另外,对于数字式高压线路电流差动保护来讲,线路各端保护装置的同步交流采样,也是其技术的一个关键。好在计算机和通信技术的发展日新月异,这给我们研究开发高压线路电流差动保护装置提供了强有力的支持。电力系统通信网的发展,通信器材的价格降低,将导致带来的专用通信线路更为经济的趋势,这都会使电流差动保护的推广应用变得更为方便。同时,它的应用也将有利于缓减电力高频载波通道拥挤的压力。

高压线路电流差动保护所采用的通信媒介,与输电线路无直接的联系,继电保护信号的传输可完全不受输电线路故障的影响,相比通过电力线载波

通道传递继电保护信号的高频保护,其通信可靠性会更高。电力微波、光纤通信的频带较宽,相比电力线载波通道,能为继电保护传递较多的信号,这可为继电保护其它装置(如远方跳闸、切机等)的应用提供更好的条件。毫无疑问,它也应是复用电力通信传递继电保护信号的发展方向。事实上,IEEE 电力系统继电保护分委会,在 1995 年发表的一份调查报告<sup>[9]</sup>就已经显示,未来的光纤通道多路传输不同用途的信号将成为一种趋势:将在继电保护、声频通信、数据传输及其它设备之间共享光纤;这种通信方式将是更为经济实效的。如果进一步发展,采用光纤自愈网传递信号,高压线路电流差动保护的通信将更为可靠,这也就意味着该保护的可靠性也将更高。目前,国外(如苏格兰)就好象有利用邮电公共光纤通信网传送信号的电流差动保护运行。这种通信媒介将可完全不受输电线路的故障的影响,通道的可靠冗余度非常高。

综合来看,正如众所周知的那样,电流差动保护判据是一种简单、可靠和广泛适用的继电保护原理,它是电力系统的主要保护之一。长期的运行考验也证明了它的优越性。随着电力系统的发展,超高压、远距离的输电线路和复杂网络(如同杆双回线路、T 型分支线路、环网等)的增多,以及电力系统通信技术的进一步迅速发展,毫无疑问,电流差动保护将会在高压、超高压输电电路上,得到更为广泛的应用。它的应用也将会克服目前高频保护所遇到的一些困难,进一步提高线路保护的运行水平。

### 3 高压线路的数字式光纤电流差动保护研究的一些最新情况

#### 3.1 保护判据

目前,国内外的高压线路电流差动保护装置中主要采用的判据有以下几种:

(1) ABB 公司的 REL561 型装置和英国 GEC 公司的 LFCB102/103 型装置采用的判据为:

$$I_{diff} = | I_i |, \quad I_{bias} = \frac{1}{2} | I_i | \quad (2)$$

其制动特性为制动系数分为两挡的比例制动特性(参见图 1)。即:

a) 当  $I_{bias} \leq I_{S2}$  时,  $I_{diff} > k_1 I_{bias} + I_{S1}$

b) 当  $I_{bias} > I_{S2}$  时,

$$I_{diff} > k_2 I_{bias} - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S1}$$

(2) 日本东芝公司的数字微波电流差动保护装置使用的判据为:

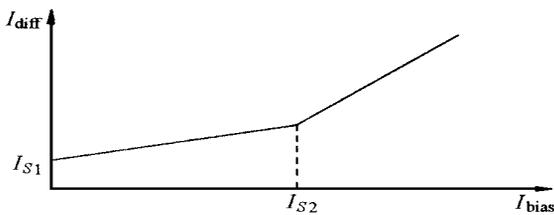


图1 式(2)的制动特性

a) 分相电流差动判据:

$$| I_A + I_B | > k_1 (| I_A | + | I_B |) + k_0 \quad (3)$$

式中:

 $I_A, I_B$  ——分别为线路两端的相电流, $k_1$  ——制动系数, $k_0$  ——差动保护的整定值。

(3) 式的制动特性与(2) 式相同。

b) 零序电流差动判据:

$$| 3I_{A0} + 3I_{B0} | > k_3 (| 3I_A | + | 3I_B |) + k_4 \quad (4)$$

式中:

 $3I_{A0}, 3I_{B0}$  ——分别为线路两端的零序电流, $k_3$  ——制动系数, $k_4$  ——差动保护的整定值。(3) 文献<sup>[10]</sup> 中提出的分相电流差动保护判据为:

a) 对于两端系统:

$$| I_M + I_N | > K | I_M - I_N | \quad (5)$$

$$| I_M + I_N | > I_0 \quad (6)$$

b) 对于三端系统:

$$| I_M + I_N + I_T | > I_0 \quad (7)$$

$$| I_M + I_N + I_T | > K | I_{MAX} - I | \quad (8)$$

$$| I_M + I_N | > | I_M - I_N | \quad (9)$$

$$| I_M + I_T | > | I_M - I_T | \quad (10)$$

$$| I_N + I_T | > | I_N - I_T | \quad (11)$$

式中:

 $I_M, I_N, I_T$  ——分别为线路三端的相电流, $K$  ——制动系数, $I_0$  ——差动保护的整定值。

(6)、(7) 式分别是两端和三端系统的保护基本判据,(5) 式是两端系统的差动保护的主判据。(8) 式是三端系统的差动保护的灵敏主判据。(9)、(10) 和(11) 式是三端系统的差动保护的保守主判据。

(4) 文献<sup>[11]</sup> 中提出的零序电流差动保护判据为:

$$| I_M + I_N | > I_0 \quad (12)$$

$$| I_{M0} + I_{N0} | > K_0 | I_{M0} - I_{N0} | \quad (13)$$

式中:

 $I_M, I_N$  ——分别为线路两端的相电流, $I_{M0}, I_{N0}$  ——分别为线路两端的零序电流, $K_0$  ——制动系数, $I_0$  ——差动保护的整定值。

(5) LFP-931A 型光纤电流差动保护装置使用的判据为:

$$I_D = | i_{OP} + i_{OPR} | - 0.7 | i_{OP} - i_{OPR} | \quad (14)$$

其中:

$$i_{OP} = i + i \times 4$$

$$i_{OPR} = i_R + i_R \times 4$$

 $i, i_R$  ——线路两端的相电流, $i, i_R$  ——线路两端相电流的变化量。

众所周知,各种不同的电流差动保护判据的差别是其制动量的不同。从上面所列的几种判据可以看出:国外保护装置的判据中的制动量基本上各端电流相量的标量和,而国内保护装置的判据中的制动量的研究已经再往前进了一步。从以上判据的有关文献中可以看出,国内保护装置的判据的灵敏度和防卫度均要优于用各端电流相量的标量和作制动量的判据。最近,也有学者提出基于故障分量的电流瞬时值的差动保护算法。其目的是想克服相量差动算法受负荷电流的影响和提高保护的动作速度。

### 3.2 通信方式

现在研制的高压线路的电流差动保护装置,几乎全部是数字式的。它们的通信方式都是采用 PCM 数字调制方式,只是在实际中,有可能是采用微波或者是光纤复用通道:对于有些输电线路,如短线路,通常还会是保护专用光纤。不管何种通道,由于均是采用 PCM 调制方式,对于保护装置在大多数应用场合,总是采用 64/56 kbps 的同步通信接口,经微纤与微波或光纤复用通信系统相连,或直接与专用光纤相连,保护的 64/56 kbps 的同步通信接口与复用通信系统之间,目前,基本上统一采用同向接口方式,和遵循 CCITT 的 G703 建议。

REL-561 装置的接口还设计有电线通信接口,以便与近距离(100 m 以内)的某些通信设备直接相连,也还设计了几种接口,以适应于经一些特殊的数字通信设备再连至 PCM 复用设备的情况。鉴于我国电力系统通信的实际,电流差动保护装置的通信接口方式一般不会遇到这些情况。

随着光纤通信系统的发展,为了提高通信通道的可靠性,将会出现自愈环网(如:SDH 配电网)。这样,就会出现通信过程中路由发生变化的情况。这会影响到保护装置的一些工作。这也是电流差动保护装置研究的一个重要方面。国外的保护装置,如 REL-561 已经可以适应这种通信方式。

### 3.3 同步采样<sup>[12]</sup>

对于数字式的电流差动保护装置,它所比较的是各端电流采样后的数据信息,而各端的电流采样是分别由不同的计算机来完成的,为了保证差动电流的计算精度,各端的电流采样必须实现同步。实现同步的方式,可以是真正的同步采样,也可以是非同步采样,采样数据在进行比较前,经过同步处理。

目前,已经提出的同步方法有:(1)采样数据修正法<sup>[13]</sup>;(2)采样时刻调整法<sup>[14]</sup>;(3)时钟同步法<sup>[15]</sup>;(4)基于参考相量的同步法<sup>[16]</sup>;(5)基于 GPS 的同步法<sup>[12]</sup>。这些同步方法中有些已经用于实际的装置中,如:采样数据修正法已用于 WXH-14 型高压线路微机微波电流差动保护装置和 WXH-35 型微机短线路光纤纵差保护装置,采样时刻调整法已用于 LFP-931A 型数字式分相电流差动保护装置,时钟同步法已用于 REL561 型数字式分相电流差动保护装置等。

同步采样方法的研究需要进一步解决的问题,最主要的应是同步采样方法如何去适应通信路由可能会发生变化的新的复用数字通信方式。在这个方面,上述方法中,只有基于参考相量的同步法和基于 GPS 的同步法,从原理上能够很好地满足,因为它们不需要借助通信传递用于采样同步处理的任何信息。但它们也还是有一些各自的不足。对于基于参考相量的同步法,其补偿计算的精度是关键。它受线路参数、CT、PT 等的影响较大,补偿计算量较大且通常不易准确。对于基于 GPS 的同步法,其缺点仅是需要 GPS 接收机和 GPS 系统的受控性。换句话说,GPS 接收机的接收质量是其关键。如果能在不增加装置硬件,仅利用现有的保护通信接口和其数字通道,设计一个同步工作量少,保护算法运用采样数据时计算简单,且可靠性高,能适应通信路由变化的同步方法,我们认为这将是最为理想的。毫无疑问,这是有很多困难的。目前,我们正在努力做这方面的研究工作。

### 3.4 北京 Hathaway 四方公司正在开发的电流差动保护装置的一些特点

目前正在开发的高压线路数字式光纤分相电流

差动保护装置,将吸收借鉴该课题领域中的最新研究成果,以及原设计 WXH-11、14 型高压线路保护装置的成功经验。装置的主要特点有:

采用四方公司的第三代数字式保护装置的系列硬件,总线不出芯片。为了保证通信和保护的实际速度和可靠性,分别设置了通信 CPU 和保护 CPU。保护 CPU 的功能分配可完全等效就地的差动保护 CPU。保护装置可适应电力系统的双端、三端(T 型接线)220 kV 及以上的高压、超高压输电线路。通信方式可适应路由发生变化的复用通信系统。通信接口系列化,既可适应各种复用通信系统,也可适应不同距离输电线路的专用光纤通道。通信接口符合 CCITT 标准。

装置的保护配置除分相电流差动主保护外,还配有完整的后备保护。

装置具有 LonWorks 通信功能和 RS232/485 通信接口,可以很方便地与综合自动化系统相连。

### 参考文献

- 葛耀中. 电流差动保护动作判据的分析和研究. 西安交通大学学报, 1980, 2.
- 贺家李, 葛耀中. 超高压输电线路故障分析与继电保护. 科学出版社, 1987.
- 甘肃电力局, 许昌继电器研究所, 西安交大. 输电线路各相电流差动微波保护(科研阶段报告). 西安交通大学科技报告, 1979, 7.
- 葛耀中等. 输电线路各相电流差动微波保护. 中国电机工程学会第二次继电保护及自动装置学术讨论会论文, 1979, 7.
- [日]风村正己, 太田宏次著, 牟敦庚译. 输配电线路继电保护. 水利电力出版社, 1983.
- 马师模等. 短线路光纤纵差保护的研究. 电力系统自动化, 1987, (3).
- 伍叶凯等. 微机短线路光纤纵差保护装置的研究. 继电器, 1996, (2).
- 伍叶凯, 邹东霞. 电容电流对差动保护的影响及补偿方案. 继电器, 1997, (4).
- J. D. Huddleston 等. 继电保护光纤通道的研究: 实践与经验. 许昌继电器研究所, 1995 年国外继电保护译文集(译自 IEEE Transaction on Power Delivery, 1995, 10(2) 647 ~ 658).
- 王绪昭. 并行处理式单片机微波保护的研究. 华北电力学院博士论文, 1990.
- 张新国, 杨维娜等. 数字式微波零序电流差动保护判据的研究. 继电器, 1993, (2).
- 高厚磊等. 数字电流差动保护中几种采(下转 21 页)

牵引变电所内电磁环境复杂,电、磁及电磁干扰同时影响二次系统,且各种干扰相伴而生。目前,对一些干扰现象还难以建立准确的物理模型或数学模型,影响对电磁干扰的特性、强度进行定量的分析计算。笔者认为,牵引变电所电磁兼容课题的研究可从两方面进行:一方面对干扰源的特性、干扰信号传输途径及干扰机理等进行理论研究,进而可深入定量分析计算;另一方面,研究模拟实验和现场实际测量的方法,通过实践研究积累资料和经验,为理论研究提出可靠的参照。

## 参考文献

1 葛马信山等. 电磁场基础. 北京:清华大学出版社,1995,:

42~48.

- 2 湖北省电磁兼容学会. 电磁兼容性原理及应用. 北京:国防工业出版社,1996, :154~163.
- 3 刘鹏程. 电磁兼容原理及技术. 北京:国防工业出版社,1993, :11~15.
- 4 张志远. 电气化铁道对地震台站电磁影响的研究. 铁道学报,1993,15(3).
- 5 林福昌等. 变电所强电设备与弱电路的电磁兼容问题. 中国电力,1996,1:37~39.

收稿日期:1998-09-22

杨焯成 女,1943年出生,副教授,长期从事电工电子理论的教学及科研工作。

## ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ON PRIMARY AND SECONDARY SYSTEM OF TRACTION SUBSTATION

Yang Yecheng (Electric Engineering Department of East China Jiaotong University, Nanchang, 330013)

**Abstract** Source and characteristic and mechanism and calculating method of electromagnetic interference are analyzed in this paper. Research necessary and channel of electromagnetic interference of traction Substation are put forward for related department reference.

**Key words** Traction substation Secondary - system Micro - computer synthesize automatic system Electromagnetic interference

(上接7页) 样同步方法. 电力系统自动化,1996,(9).

- 13 杨维娜,鲍伟廉. PCM系统传送继电保护数据的信号处理. 电力系统通信,1992,(2).
- 14 许建德,陆以群. 新型数字电流差动保护装置中的数据采样同步和通信方式. 电力系统自动化,1993,(4).
- 15 T. Einaraon et al. Experiences of current differential protections for multi-terminal power lines using multiplexed data transmission systems. CIGRE 1994:34-203.
- 16 Fesler E et al. Development of Digital E. H. V Line Differential

Protection Relay. International Control. Beijing,1994.

收稿日期:1998-07-23

廖泽友 男,1964年生,在读博士生,主要研究方向为电力系统微机保护与自动化。

鲍伟廉 男,1931年生,教授,主要研究方向为电力系统通信。

杨维娜 女,1937年生,教授,主要研究方向为电力系统通信。

## CURRENT STATE AND PROSPECT OF HV LINE CURRENT DIFFERENTIAL PROTECTION

Liao Zeyou, Bao Weilian, Yang Weina, Yang Qixun, Cai Hu  
(North China University of Electric Power, Beijing, 100085, China)

**Abstract** Current differential protection is an important developing direction of HV line main protection. This paper simply describes the history and current state of HV line current differential protection, discusses its feature, action and significance in HV line protection, and looks ahead its application prospect. Finally, the paper introduces some latest informations about the HV line current differential protection research and some features of HV line digital fibre-optical separated phase current differential protection which is being developed by the Hathaway Sifan Corporation in Beijing.

**Key words** Current differential protection Line protection Data communication Synchrosampling